



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Hochdruckförderaggregat (8) ist ein Druckregelventil (12) zugeordnet, das zwischen einer Hochdruckseite (10, 56) und einer Niederdruckseite (11, 53) angeordnet ist und ein Ventilelement (54) umfasst, über einen elektrischen Steller (47) ansteuerbar ist. Das Druckregelventil (12) umfasst eine Gehäusekomponente (41), die einen verformbaren Bereich (57) enthält, über den bei Montage des Druckregelventils (12) an einem Aufnahmekörper (52) ein Spalt L zwischen Flächen (48, 49) einer elektrisch ansteuerbaren Stelleranordnung (45, 47) einstellbar ist.

Einstellbares Druckregelventil für Kraftstoffeinspritzsysteme

10 Technisches Gebiet

An selbstzündenden Verbrennungskraftmaschinen werden heute neben Pumpe-Düse-Systemen und Pumpe-Leitung-Düse-Systemen Speichereinspritzsysteme zum Einspritzen von Kraftstoff eingesetzt. Diese Einspritzsysteme umfassen einen Hochdruckspeicherraum, der über eine Hochdruckpumpe mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff versorgt wird. Die Hochdruckpumpe stellt die Schnittstelle zwischen dem Hochdruckteil und dem Niederdruckteil des Einspritzsystemes dar. Die Hochdruckpumpe umfaßt ein Druckregelventil, welches einerseits dazu dient, bei zu hohem Druck im Hochdruckspeicherraum zu öffnen, so daß Kraftstoff aus diesem über eine Sammelleitung zurück zum Kraftstoffbehälter strömt und andererseits dazu, bei zu niedrigem Druck im Hochdruckspeicherraum die Hochdruckseite gegen die Niederdruckseite abzudichten.

Stand der Technik

25 Aus der Veröffentlichung "Dieselmotor-Management", 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, Vieweg 1998, Braunschweig; Wiesbaden, ISBN 3-528-03873-X, S. 270, Abbildung 9 ist ein Druckregelventil bekannt. Das Druckregelventil wird an einer Hochdruckpumpe eingesetzt, vgl. S. 267 Bild 7 derselben Veröffentlichung. Das Druckregelventil umfaßt ein Kugelventil, welches einen kugelförmig ausgebildeten Schließkörper enthält. Innerhalb des Druckregelventils ist ein Anker aufgenommen, der einerseits von einer Druckfeder beaufschlagt ist und dem andererseits ein Elektromagnet gegenüberliegend angeordnet ist. Der Anker des Druckregelventils ist zur Schmierung und zur Kühlung von Kraftstoff umspült.

35 Ist das Druckregelventil nicht angesteuert, so steht der im Hochdruckspeicherraum oder am Ausgang der Hochdruckpumpe anliegende hohe Druck über den Hochdruckzulauf am Druckregelventil an. Da der stromlose Elektromagnet keine Kraft ausübt, überwiegt die

Hochdruckkraft gegenüber der Federkraft der Druckfeder, so daß das Druckregelventil öffnet und dieses je nach geförderter Kraftstoffmenge mehr oder weniger geöffnet bleibt.

Wird das Druckregelventil hingegen angesteuert, d.h. wird der Elektromagnet bestromt, wird der Druck im Hochdruckkreis erhöht. Dazu wird zusätzlich zur durch die Druckfeder ausgeübten Kraft eine magnetische Kraft erzeugt. Das Druckregelventil wird geschlossen, bis zwischen der Hochdruckkraft einerseits und der Federkraft sowie der Magnetkraft andererseits ein Kräftegleichgewicht vorliegt. Die magnetische Kraft des Elektromagneten ist proportional zum Ansteuerstrom I der Magnetspulen innerhalb des Druckregelventils. Der Ansteuerstrom I kann durch Taktung (Pulsweitenmodulation) variiert werden.

Gemäß der oben genannten Veröffentlichung, Seite 270, Bild 7 wird das Druckregelventil in die Hochdruckpumpe zum Beispiel eingeschraubt. Dabei tritt das Problem auf, daß die notwendige, exakte Kennlinie $p = f(I)$, wobei mit I der Ansteuerstrom des Elektromagneten

bezeichnet ist, für $\dot{Q} = \text{const.}$ im wesentlichen vom sich zwischen der Ankerplatte und dem Magnetkern, in dem die Magnetspulen des Elektromagneten aufgenommen sind, einstellenden Luftspalt L abhängig ist. Der Luftspalt L wird bei der Montage des Druckregelventils in einen Aufnahmekörper, hier zum Beispiel eine Hochdruckpumpe, eingestellt. Abhängig vom Luftspalt L stellt sich die Kennlinie des Druckregelventils $p = f(I)$ ein. Die geforderte Toleranz der genannten Kennlinie $p = f(I)$ des Druckregelventils wird in einem Prüfpunkt eingestellt, der durch einen ausgewählten Wert für den Ansteuerstrom I der Spulen des Elektromagneten definiert ist. In diesem Prüfpunkt wird eine Drucktoleranz $\pm \Delta p$ des Druckregelventils ermittelt. Je kleiner diese Toleranz ausfällt, eine um so bessere Regelqualität hinsichtlich des Ansteuerungsverhaltens des Druckregelventils ist erzielbar und desto genauer spricht das Druckregelventil auf Druckschwankungen zwischen Hochdruckseite und Niederdruckseite an.

Da der Luftspalt L abhängig von der Montagequalität ist und beim bisherigen Vorgehen nur mit größerem Aufwand eingestellt werden kann, hängt die im Prüfpunkt sich einstellende Drucktoleranz $\pm \Delta p$ in erheblichem Maße von der Güte der Montage des Druckregelventils an einer Hochdruckpumpe oder einem anderen mit hohem Druck beaufschlagten Bauteil ab.

Darstellung der Erfindung

Der Vorteil der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Lösung ist vor allem darin zu erblicken, daß bei Auslegung eines Gehäusekörpers des Druckregelventils mit einem gezielt ge-

schwächten Bereich, d.h. einem weicher ausgelegten Bauteilbereich, bei der Montage des Druckregelventils in eine Hochdruckpumpe oder einem Hochdruckspeicherraum gezielt eine elastische und/oder plastische Verformung herbeigeführt werden kann. Mit einem einen elastisch und/oder plastisch verformbaren Bereich aufweisenden Gehäusekörper eines Druckregelventils läßt sich der Luftspalt L im Magnetsystem Ankerplatte/Magnetkern gezielt einstellen bzw. gezielt verändern. Die Einstellung bzw. Veränderung des Luftspaltes L ist über die Montagekraft, wie zum Beispiel über das aufzubringende Montagedrehmoment vorgebbar. Ist der Luftspalt L innerhalb des Magnetsystems eingestellt, lassen die sich aus den Bauteiltoleranzen resultierenden Drucktoleranzen im Prüfpunkt bei vorgegebenem Ansteuerstrom I für die Magnetspulen des Elektromagneten minimieren.

Dies führt dazu, daß sich kostengünstige, da mit größeren Bauteiltoleranzen behaftete Komponenten einsetzen lassen, da deren Bauteiltoleranzen bei der Montage der Komponenten mit einer wohldefinierten Montagekraft, wie zum Beispiel eines maximal zulässigen Montagedrehmomentes egalisiert werden können.

Durch Veränderung des Luftspaltes L im Magnetsystem mittels eines durch eine definierte Montagekraft beaufschlagbaren verformbaren Bereiches eines Druckregelventils kann eine zuvor große Drucktoleranz $\pm \Delta p$ durch eine Montagekraft auf die geforderte Drucktoleranz $\pm \Delta p$ verringert werden. Damit läßt sich eine stabilere Regelcharakteristik eines Kraftstoffeinspritzsystems mit Hochdruckspeicherraum (Common Rail) erzielen. Andererseits stellt die erfindungsgemäß vorgeschlagene Lösung eine einfachere Montage eines Druckregelventils an einer Hochdruckpumpe bzw. einem Hochdruckspeicherraum sicher, da die Montage des Druckregelventils an einer der genannten Komponenten vom individuellen Können unabhängiger ist, wodurch sich die Ausbringungsrate in der Großserienfertigung von Einspritzanlagen bzw. Einspritzanlagenkomponenten erheblich steigern läßt.

Zeichnung

Anhand der Zeichnung wird die erfindungsgemäße Lösung nachstehend eingehender beschrieben.

Es zeigt:

Figur 1 die Komponenten eines Kraftstoffeinspritzsystems mit Hochdruckspeicherraum und

Figur 2 das in größerem Maßstab in Schnittdarstellung wiedergegebene Druckregelventil; integriert in eine hochdruckführende Komponente wie etwa eine Hochdruckpumpe oder einen Hochdruckspeicherraum eingebaut.

5

Ausführungsvarianten

Figur 1 sind die Komponenten eines Hochdruckeinspritzsystems mit Hochdruckspeicher (Common Rail) zu entnehmen.

10

Das in Figur 1 dargestellte Kraftstoffeinspritzsystem 1 umfaßt einen Kraftstoffbehälter 2, in dem sich Kraftstoff entsprechend eines Kraftstoffniveaus 3 befindet. Unterhalb des Kraftstoffspiegels innerhalb des Kraftstoffbehälters 2 ist ein Vorfilter 4 angeordnet, der einem Vorförderaggregat 5 vorgeschaltet ist. Das Vorförderaggregat 5 fördert den über den Vorfilter 4 angesaugten Kraftstoff aus dem Kraftstoffbehälter 2 über einen Kraftstofffilter 6 in einen Niederdruckleitungsabschnitt 7, der in ein Hochdruckförderaggregat 8 mündet. Das Hochdruckförderaggregat 8, bei dem es sich beispielsweise um eine Hochdruckpumpe handeln kann, wird über eine Ansteuerleitung 9 von einem hier nur schematisch dargestellten zentralen Steuergerät 14 angesteuert. Das Hochdruckförderaggregat 8 umfaßt neben dem Anschluß des Niederdruckleitungsanschlusses 7 ein Druckregelventil 12 mit einem elektrischen Anschluß 14, welcher über eine Ansteuerung 13 ebenfalls über das zentrale Steuergerät 14 angesteuert wird. Vom Hochdruckförderaggregat 8 zweigt ein Hochdruckzulauf 10 ab, über den ein rohrförmig konfigurierter Hochdruckspeicherraum 15 mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff beaufschlagt wird. Ferner zweigt vom Hochdruckförderaggregat 8 eine Kraftstoffrücklaufleitung 11 ab, welche in einen Rücklauf 17 mündet, der seinerseits überschüssigen, abströmenden Kraftstoff wieder in den Kraftstoffbehälter 2 zurückleitet.

Der über den Hochdruckzulauf 10 vom Hochdruckförderaggregat 8 geförderte, unter sehr hohem Druck stehende Kraftstoff tritt in den Hochdruckspeicherraum 15 (Common Rail) ein, an dessen Außenumfang ein Drucksensor 16 aufgenommen ist. Der Drucksensor 16 steht seinerseits über eine Drucksignalleitung 25 mit einer zentralen Signalübertragungsleitung 24 in Verbindung, die sich ihrerseits wieder ausgehend vom Steuergerät 14 erstreckt. Vom Hochdruckspeicherraum 15, der zum Beispiel als ein rohrförmig konfiguriertes, als Schmiedeteil beschaffenes Bauteil ausgebildet sein kann, zweigen Hochdruckleitungen 18 in einer der Anzahl der Kraftstoffinjektoren 19 entsprechenden Anzahl ab. Die Hochdruckzuleitungen 18 münden am jeweiligen Zulaufanschluß 20 der Injektorkörper der Kraftstoffinjektoren 19. Die Kraftstoffinjektoren 19 umfassen Aktoren, die zum Beispiel

als Piezoaktoren, mechanisch hydraulische Übersetzer oder auch als Magnetventile beschaffen sein können und die die Einspritzvorgänge in entsprechender Abfolge initiieren. Die Aktoren der einzelnen Kraftstoffinjektoren 19 stehen über Aktoransteuerungsleitungen 22 ebenfalls mit der zentralen Signalübertragungsleitung 24, die vom schematisch wiedergegebenen zentralen Steuergerät 14 ausgeht, in Verbindung. Daneben weisen die einzelnen Kraftstoffinjektoren 19 Rücklaufleitungen 21 auf, die ebenfalls in den bereits erwähnten Rücklauf 17 zum Kraftstoffbehälter 1 münden, so daß zum Beispiel abzusteuernde Steuervolumina in den Kraftstoffbehälter 2 abströmen können.

Vom Steuergerät 14 zweigen neben der bereits erwähnten Ansteuerleitung 13 zur Ansteuerung eines im Druckregelventil 12 enthaltenen Elektromagneten und eine Ansteuerleitung 9 für das Hochdruckförderaggregat 8 sowie einer Drucksensorleitung 25 zum Drucksensor 16 des Hochdruckspeicherraums 15 auch eine Ansteuerleitung 26 ab, mit welcher das im Kraftstoffbehälter 2 untergebrachte Vorförderaggregat 5 ansteuerbar ist. Das zentrale Steuergerät 14 des Kraftstoffeinspritzsystems empfängt darüber hinaus Signale von einem Kurbelwellensensor, der zur Erfassung der Drehlage der Verbrennungskraftmaschine dient, ferner Signale eines Nockenwellensensors 28, über den die entsprechende Phasenlage der Verbrennungskraftmaschine bestimmbar ist, sowie Eingangssignale eines Fahrpedalsensors 29. Ferner erhält das zentrale Steuergerät 14 über die zentrale Signalübertragungsleitung 24 den Ladedruck 30 charakterisierende Signale über einen entsprechenden im Ansaugtrakt der Verbrennungskraftmaschine untergebrachten Sensor. Darüber hinaus wird die Motor-temperatur 31, beispielsweise erfaßt an den Wänden der Brennräume der Verbrennungskraftmaschine, sowie die Temperatur 32 des Kühlfluides über die zentrale Steuerleitung 24 an das in Figur 1 in schematischer Form wiedergegebene zentrale Steuergerät 14 übermittelt.

Figur 2 zeigt in vergrößertem Maßstab im Längsschnitt die erfindungsgemäße Konfiguration des Druckregelventils, welches in eine hochdruckführende Komponente, sei es ein Hochdruckförderaggregat oder einen Hochdruckspeicherraum eingebaut ist.

Der Darstellung gemäß Figur 2 ist entnehmbar, daß das Druckregelventil 12 einen elektrischen Anschluß 40 umfaßt, über welchen ein im Druckregelventil 12 angeordneter elektrisch ansteuerbarer Steller aktiviert bzw. deaktiviert werden kann.

Der elektrische Steller ist in der Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Lösung in Figur 2 als elektromagnetischer Steller ausgebildet. In einer Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 ist eine Ankerbohrung 40 vorgesehen, die von einem Ankerteil 45 durchsetzt ist. An einem Ende des Ankerteils 45 ist eine Ankerplatte 46 aufgenommen. Die

Ankerplatte 46 ist an ihrem anschlußseitigen Ende von einem Druckfederelement 44 beaufschlagt. Das Druckfederelement 44 und die äußere Umfangsfläche der Ankerscheibe 46 sind von einem glockenförmig ausgebildeten Einsatz 42 umschlossen, der ebenfalls in der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 aufgenommen ist. Einer Stirnseite 48 der Ankerplatte 46 gegenüberliegend ist in die Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 ein Elektromagnet 47 eingelassen. Zwischen der Stirnseite 48 der Ankerplatte 46 und einer Stirnseite 41 der Gehäusekomponente 41 ist ein Luftspalt L eingestellt.

Die Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 ist von einem Montageelement 51 umschlossen. Das Montageelement 51 ist in der Darstellung gemäß Figur 2 an der Außenumfangsfläche der Gehäusekomponente 41 verdrehbar aufgenommen. In axialer Richtung in Bezug auf die Gehäusekomponente 41 stützt sich das Montageelement 51 an einem im verjüngten Durchmesserbereich der Gehäusekomponente 41 aufgenommenen Abstützring 65 ab. Das Montageelement 51 kann, wie dargestellt, als eine Montageschraube ausgebildet sein, die ein Außengewinde umfaßt, welche in ein korrespondierendes Gewinde an einem Aufnahmekörper 8 bzw. 15, in welchem das Druckregelventil 12 befestigt wird, eingeschraubt werden kann. Der Aufnahmekörper 8 bzw. 15 kann zum Beispiel das in Figur 1 dargestellte Hochdruckförderaggregat 8 oder der mit Bezugszeichen 15 bezeichnete Hochdruckspeicherraum (Common Rail) sein. In das Montageelement 51 kann ein wohldefiniertes Anzugsdrehmoment eingeleitet werden, mit welchem die Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 in den Aufnahmekörper 8 bzw. 15 eingeschraubt wird.

Das Ankerteil 45 des elektrischen Stellers beaufschlagt mit seinem der Ankerplatten 46 gegenüberliegenden Ende ein in der Darstellung des Druckregelventils gemäß Figur 2 kugelförmig ausgebildetes Schließelement 54, hier als Ventilkugel ausgebildet. Die Ventilkugel 54 wird mittels des Ankerteils 45 des elektrisch ansteuerbaren Stellers in einen Sitz 55 gestellt, der an einem Sitzring 64 ausgebildet ist. Der Sitzring 64 ist unter Zwischenschaltung eines scheibenförmigen Distanzelements 63 von der Gehäusekomponente 41 umschlossen. Das in der Darstellung gemäß Figur 2 kugelförmig ausgebildete Ventilelement 54 verschließt eine als Drossel wirkende Durchgangsbohrung des Sitzrings 64. Der Sitzring 64, dessen Außenumfangsfläche von der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 umschlossen ist, ist auf der dem Schließelement 54 gegenüberliegenden Seite von dem in einem Hohlraum 56 anstehenden Systemdruck beaufschlagt. Bei Betätigung des Ankerteils 45 des elektrisch ansteuerbaren Stellers des Druckregelventils 12 wirkt die durch das Ventilelement 54 verschließ- bzw. freigebbare Durchgangsbohrung innerhalb des Sitzrings 64 als Ablaufdrossel hinsichtlich des im Aufnahmekörper 8 bzw. 15 anstehenden Hochdrucks. Dieser kann bei Betätigung des Ankerteils 45 über die im Sitzring 64 als Durchgangsbohrung ausgeführte Ablaufdrossel in den Niederdruckteil 11 entlastet werden, von dem aus

sich senkrecht zur Achse des Ankerteils 45 im Aufnahmekörper 8, 15 erstreckende Niederdruckleitungen 53 abzweigen, die ihrerseits mit dem Kraftstoffrücklauf 11 (vgl. Darstellung gemäß Figur 1) verbunden sind.

5 Aus der Darstellung gemäß Figur 2 geht ferner hervor, daß die Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 an ihrem dem elektrischen Anschluß 40 gegenüberliegenden Ende einen verformbaren Bereich 57 umfaßt. Der verformbare Bereich 57 erstreckt sich in einer Axialerstreckung 61 zwischen einem an der Umfangsfläche der Gehäusekomponente 41 aufgenommenen Dichtelement 62 und dem scheibenförmigen Element 63, das von der Ge-
10 häusekomponente 41 des Druckregelventils 12 ebenfalls umschlossen wird. Innerhalb dieser axialen Länge 61 ist die Ankerbohrung 50, welche vom Ankerteil 45 des elektrischen Stellers durchsetzt wird, von einem Hohlraum umschlossen. In der Hohlraumwandung sind senkrecht zur Achse der Ankerbohrung 50 verlaufende Bohrungen angeordnet, die zur den Niederdruckbohrungen 53 im Aufnahmekörper 8, 15 fluchten. Der sich über die axiale
15 Länge 61 erstreckende verformbare Bereich 57 kann gezielt geschwächt ausgelegt werden, so daß sich bei der Montage der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 im Aufnahmekörper 8 bzw. 15 eine plastische oder eine elastische Verformung des verformbaren Bereiches 57 einstellt. Die Schwächung innerhalb des verformbaren Bereichs 57 kann auch so dimensioniert werden, daß sich bei der Montage der Gehäusekomponente 41 des Druck-
20 regelventils 12 eine elastische und eine plastische Verformung des Bereiches 57 einstellt. Aus der Darstellung gemäß Figur 2 geht hervor, daß die Wandung der Gehäusekomponente 41 innerhalb der axialen Länge 61 in reduzierter Wandstärke ausgebildet werden kann. Mit Bezugszeichen 59 ist eine erste Wandstärke bezeichnet, welche im Vergleich zur Wandstärke zwischen der Ankerbohrung 50 und der Außenumfangsfläche der Gehäusekompo-
25 nente 41 im Bereich des Montageelementes 51 erheblich reduziert ist. Daneben ist es durchaus auch möglich, die Wandstärke 59.1 im Vergleich zur erwähnten Wandstärke 59 in eine diese übersteigende Wandstärke wie in Figur 2 dargestellt, auszubilden. Die Wandstärke 59.1 gemäß der Darstellung in Figur 2 übersteigt die Wandstärke 59, stellt jedoch sicher, daß bei einer Montage der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12
30 im Aufnahmekörper 8 bzw. 15 eine elastische bzw. eine plastische Verformung des verformbaren Bereichs 57 gewährleistet ist. Neben einer Wandschwächung durch Reduzierung der Wandstärke auf eine Wandstärke 59 bzw. 59.1 gemäß Figur 2 können innerhalb des verformbaren Bereichs auch Durchgangsöffnungen 60 angeordnet werden. Je nach Anzahl der Durchgangsöffnungen 60 und deren Anordnung in Bezug auf die Umfangsfläche des verformbaren Bereiches 57 einer axialen Länge 61 am Außenumfang der Gehäusekomponente 41, kann der Verformbarkeitsgrad des verformbaren Abschnittes 57 der Ge-
35 häusekomponente 41 beeinflußt werden. Die in Figur 2 dargestellten Durchgangsöffnungen 60 können sowohl als Durchgangsbohrungen ausgebildet werden; es ist jedoch ebenfalls

möglich, die Öffnungen 60 als Sacklochbohrungen auszubilden, so daß eine in radiale Richtung unterschiedliche Verformbarkeit der Gehäusekomponente 41 bei deren Montage am Aufnahmekörper 8 bzw. 15 erreicht werden kann. Es ist ebenfalls möglich, den verformbaren Bereich 57 an dem dem anschlußseitigen Ende gegenüberliegenden Ende der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 mit einer kombinierten Wandschwächung mit in dieser geschwächten Wandzone angeordneten Durchgangsöffnungen 60 auszubilden. Auf diese Weise läßt sich ein besonders weicher Verformungsbereich 57 erzielen, dessen elastische Verformbarkeit nach Aufbringen eines bestimmten Montage-
drehmomentes in eine plastische Verformung übergeht.

Neben einer Ausbildung des verformbaren Bereiches 57 an der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 durch Vornahme einer Wandschwächung 59 bzw. 59.1 und/oder die Anordnung von Durchgangsöffnungen 60 entlang der Umfangsfläche des verformbaren Bereiches 57 an der Gehäusekomponente 41, kann der verformbare Bereich 57 an diesem auch in Form eines Z-Profiles ausgebildet werden, ähnlich wie ein Faltenbalg. Die Einstellung des Luftspaltes L bei der Montage des Druckregelventils 12 im Aufnahmekörper 8, 15 erfolgt wie nachstehend beschrieben:

Die Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 wird zunächst mittels des als Montageschraube ausgebildeten Montageelementes 51 in das Innengewinde der Bohrung im Aufnahmekörper 8 bzw. 15 eingeschraubt. Danach läßt sich am Montageelement 51 auf einfache Weise ein Drehmoment einleiten, mit welchem die Gehäusekomponente 41 im Aufnahmekörper 8 vorgespannt wird. Die axiale Bewegung der Gehäusekomponente 41 ist dadurch gewährleistet, daß sich das als Montageschraube ausgebildete Montageelement 51 an der Außenumfangsfläche der Gehäusekomponente 41 an einem in diese eingelassenen Abstützring 65 abstützt. Somit ist sichergestellt, daß die Gehäusekomponente 41 beim Anziehen des Montageelementes 51 gegen den Aufnahmekörper 8 bzw. 15 vorgespannt wird. Beim Einschrauben der Gehäusekomponente 41 legt sich das scheibenförmig ausgebildete Zwischenelement 63 an einer Stirnfläche der Gehäusekomponente 41 an. Der Sitzring 64, der mit einer als Ablaufdrossel wirkenden Drosselstelle versehen ist, legt sich am Aufnahmekörper 8 bzw. 15 an. Am gegenüberliegenden anschlußseitigen Ende der Gehäusekomponente 41 stellt sich zwischen der dem Elektromagneten 47 zuweisenden Stirnseite 48 der Ankerplatte 46 und der Stirnseite 49 der Gehäusekomponente 41 ein Luftspalt L ein. Da der Luftspalt L abhängig von der Position der Ankerplatte 46 in Bezug auf die Stirnseite 49 der Gehäusekomponente 41 ist und sich die Spitze des Ankerteils 45 an das Schließelement 54 anstellt, welches im Sitz 55 des Sitzrings 64 aufgenommen ist, stellt sich je nach Montagedrehmoment zwischen der Stirnseite 58 der Ankerplatte 46 und der Stirnseite 49 der Gehäusekomponente 41 ein Luftspalt L ein. In diesem Zustand herrscht ein Luftspalt L, der

nur durch das Anzugsdrehmoment des Montageelementes 51 bestimmt wird. Eine Variation des Luftspaltes L kann dadurch erfolgen, daß bei weiterer Beaufschlagung des Montageelementes 51 die Montagekraft 58 - angedeutet durch die aufeinander zuweisenden Pfeile in Figur 2 - eine Verformung, sei sie plastisch, elastisch und/oder plastisch und elastisch des verformbaren Bereiches 57 an der Gehäusekomponente 41 bewirkt. Durch die Auslegung der Wandstärkenreduzierung 59 bzw. 59.1 entsprechend der axialen Länge 61 des verformbaren Bereiches 57 ist die sich einstellende Verformung abhängig von der Höhe des am Montageelement 51 aufgebrachten Anzugsdrehmomentes. Aufgrund der Auslegung des verformbaren Bereiches 57, sei es mit Durchgangsöffnungen 60, sei es mit Sacklochbohrungen entlang des Umfangs, sei es durch eine erste Reduzierung der Wandstärke (vgl. Bezugszeichen 59), sei es durch eine zweite Reduzierung der Wandstärke (vgl. Bezugszeichen 59.1) kann der Grad der Verformung des verformbaren Bereiches 64 an die Gehäusekomponente 41 definiert werden. Aufgrund des bekannten Anzugsdrehmomentes und des bekannten Verformungsverhaltens des verformbaren Bereiches 57 an der Gehäusekomponente 41 stellt sich als Resultat zwischen der Stirnseite 48 der Ankerplatte 46 und der Stirnseite 49 der Gehäusekomponente 41 ein exakt definierter Luftspalt L ein. Je nach aufgebrachtem Montageanzugsmoment am Montageelement 51 und der daraus resultierenden Verformung des verformbaren Bereiches 57 kann der Luftspalt L des hier als Elektromagneten ausgebildeten elektrischen Stellers beeinflusst werden. Nach erfolgter Einstellung des Luftspaltes L wird am anschlußseitigen Ende der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 der elektrische Anschluß 40 einfach auf dessen Umfangsfläche aufgeklipst.

Im montierten Zustand des Druckregelventils 12 an einem Aufnahmekörper 8 bzw. 15, sei es ein Hochdruckförderaggregat 8 oder ein Hochdruckspeicherraum 15, ist durch die Montagekraft 58 und die Verformbarkeit des verformbaren Bereiches 57 der Luftspalt L zwischen der Stirnseite 48 der Ankerplatte 46 und der Stirnseite 49 der Gehäusekomponente 41 eingestellt. Damit läßt sich unter Aufgabe eines Ansteuerstromes I die Drucktoleranz $\pm \Delta p$ des Druckregelventils 12 auf einfache Weise in einem bestimmten Prüfpunkt, der durch einen bestimmten Ansteuerstrom I des Elektromagneten 47 definiert ist, einstellen. Wird die geforderte Toleranz im Prüfpunkt nicht erreicht, kann durch Variation der Anzugskraft des Montageelementes 51 und einer daraus resultierenden Veränderung der Verformung des verformbaren Bereiches 57 der Gehäusekomponente 41 der Luftspalt L am Magnetkomponenten relativ zueinander variiert werden. Die Veränderung des Luftspaltes L ist damit eine direkte Folge der bei der Montage durch das Montageelement 51 aufgebrachten Montagekraft 58, die wiederum die Verformbarkeit des verformbaren Bereiches 57 an dem anschlußseitigen Ende der Gehäusekomponente 41 gegenüberliegenden Ende bestimmt. Mit der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Ausführung der Gehäusekomponente 41, einen verformbaren Bereich 57 enthaltend, lassen sich kostengünstige

Bauteile mit relativ großen Toleranzen verwenden. Die großen Toleranzen werden bei Aufbringen der Montagekraft 58 - beispielsweise im vorliegenden Fall als Montage-
drehmoment, mit welchem das Montageelement 51 beaufschlagt wird - durch die sich ein-
stellende Montagekraft 58 fast auf Null gebracht. Der Luftspalt L zwischen der Ankerplatte
5 46 und der Stirnseite der Gehäusekomponente 41 des Druckregelventils 12 stellt sich erst
bei weiterem Erhöhen der Montagekraft 58 ein, demnach nach dem Zeitpunkt, zu dem die
Bauteiltoleranzen bereits egalisiert sind. Aufgrund einer weiteren, wohldefinierten Steige-
rung der Montagekraft 48 stellt sich die den Luftspalt L beeinflussende Verformung inner-
halb des verformbaren Bereichs 57 an der Gehäusekomponente 41 ein.

10

Am dem Sitzring 64 gegenüberliegenden Ende des Ankerteils 45 ist innerhalb der Gehäus-
ekomponente 41 ein Hohlraum ausgebildet. Von diesem Hohlraum zweigen senkrecht zur
Ankerbohrung 50, die vom Ankerteil 45 durchsetzt ist, Niederdruckbohrungen 53 ab. Bei
Öffnung des Schließelementes 54 durch Ansteuerung des Ankerteils 45 gibt das hier kugel-
15 förmig ausgebildete Schließelement 54 die im Sitzring 64 ausgebildete, als Ablaufdrossel
wirkende Drosselstelle frei; so daß vom mit Systemdruck beaufschlagten Hohlraum 56 des
Aufnahmekörpers 8 bzw. 15, in welchen das Druckregelventil 12 mit seiner Gehäusekom-
ponente 41 eingeschraubt ist, unter hohem Druck stehender Kraftstoff vom Hochdruckteil
in den Niederdruckteil 11 bzw. 53 abströmen kann.

20

Bezugszeichenliste

	1	Kraftstoffeinspritzsystem
	2	Kraftstoffbehälter
5	3	Kraftstoffniveau
	4	Vorfilter
	5	Vorförderaggregat
	6	Kraftstofffilter
	7	Niederdruckleitungsabschnitt
10	8	Hochdruckförderaggregat
	9	Ansteuerleitung
	10	Hochdruckzulauf
	11	Kraftstoffrücklauf
	12	Druckregelventil
15	13	Ansteuerung Elektromagnet
	14	Steuergerät
	15	Hochdruckspeicherraum
	16	Drucksensor
	17	Rücklauf zum Kraftstoffbehälter
20	18	Hochdruckzuleitung Injektor
	19	Kraftstoffinjektor
	20	Zulaufseite
	21	Rücklauf vom Kraftstoffinjektor
	22	Aktoransteuerung
25	23	Einspritzdüsen
	24	zentrale Signalübertragungsleitung
	25	Drucksensorleitung
	26	Ansteuerung Vorförderpumpe
	27	Kurbelwellensensor
30	28	Nockenwellensensor
	29	Fahrpedalsensor
	30	Ladedrucksensor
	31	Temperaturfühler
	32	Kühlfluidsensor
35		
	40	elektrischer Anschluß
	41	Gehäusekomponente Druckregelventil
	42	glockenförmiger Einsatz

- 43 Dichtring
- 44 Druckfeder
- 45 Ankerteil
- 46 Ankerplatte
- 5 47 Elektromagnet
- 48 Stirnseite Ankerplatte
- 49 Stirnseite Gehäusekomponente
- 50 Ankerbohrung
- 51 Montageelement
- 10 52 Aufnahmekörper Druckregelventil 12
- 53 Niederdruckleitung
- 54 Ventilkugel
- 55 Ventilkugelsitz
- 56 Hohlraum mit Systemdruck
- 15 57 verformbarer Bereich
- 58 Wirkrichtung Montagekraft
- 59 erste verringerte Wandstärke
- 59.1 zweite verringerte Wandstärke
- 60 Schwächungsöffnung
- 20 61 Längserstreckung verformbarer Bereich
- 62 Dichtelement
- 63 scheibenförmiger Einsatz
- 64 Sitzring mit Drosselöffnung
- 65 Abstützring
- 25 L Luftspalt Magnetsystem

Patentansprüche

1. Kraftstoffeinspritzsystem für Verbrennungskraftmaschinen mit einem Hochdruckspeicherraum (15), der über ein Hochdruckförderaggregat (8) mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff beaufschlagt ist und Kraftstoffinjektoren (19) mit Kraftstoff versorgt und dem Hochdruckförderaggregat (8) ein Druckregelventil (12) zugeordnet ist, welches zwischen einer Hochdruckseite (10, 56) und einer Niederdruckseite (11, 53) angeordnet ist und ein Ventilelement (54) umfaßt, welches über einen elektrischen Steller (47) ansteuerbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Druckregelventil (12) eine Gehäusekomponente (41) umfaßt, die einen verformbaren Bereich (57) enthält, über den bei Montage des Druckregelventils (12) an einem hohen Druck führenden Aufnahmekörper (52) ein Spalt L zwischen Flächen (48, 49) einer elektrisch ansteuerbaren Stelleranordnung (45, 47) einstellbar ist.
2. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die den verformbaren Bereich (57) enthaltende Gehäusekomponente (41) des Druckregelventils (12) als Gehäusekörper ausgebildet ist.
3. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der verformbare Bereich (57) an der Gehäusekomponente (41) in einem Bereich liegt, der im montierten Zustand des Druckregelventils (12) an einem Aufnahmekörper (52) von diesem umschlossen ist.
4. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gehäusekomponente (41) ein relativ zu deren Außenseite bewegbares Montageelement (51) umfaßt.
5. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der verformbare Bereich (57) an der Gehäusekomponente (41) des Druckregelventils (12) durch eine Wandstärkenreduzierung (59, 59.1) gebildet ist.
6. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der verformbare Bereich (57) an der Gehäusekomponente (41) des Druckregelventils (12) durch senkrecht zur Wirkungslinie (58) der Montagekraft orientierte Ausnehmungen (60) gebildet ist.
7. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmungen (60) als Durchgangsbohrungen ausgeführt sind.

8. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmungen (60) als Anbohrungen ausgebildet sind.
- 5 9. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Montageelement (51) in axiale Richtung auf der Außenseite der Gehäusekomponente (41) des Druckregelventils (12) durch einen Abstützring (65) gesichert ist.
- 10 10. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß am anschlußseitigen Ende der Gehäusekomponente (41) des Druckregelventils (12) eine durch ein Federelement (44) beaufschlagte Ankerplatte (46) angeordnet ist, zwischen deren Stirnseite (48) und einer Stirnseite (49) der einen Elektromagneten (47) umschließenden Gehäusekomponente (41) ein Luftspalt L gebildet ist.
- 15 11. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gehäusekomponente (41) des Druckregelventils (12) am ventileitigen Ende einen Ventilsitz (55) für das Ventilelement (54) aufweisenden Sitzring (64) umschließt.
- 20 12. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Sitzring (64) eine hochdruckseitig als Ablaufdrossel bezüglich des Systemsdruckes innerhalb eines Hohlraumes (46) des Aufnahmekörpers (52) dienende Drosselstelle umfaßt, die durch das Ventilelement (54) freigebbar bzw. verschließbar ist.
- 25 13. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß sich der verformbare Bereich (57) der Gehäusekomponente (41) zwischen einem Dichtelement (62) und dem Sitzring (64) in Axialrichtung (61) erstreckt.
- 30 14. Kraftstoffeinspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der verformbare Bereich (57) der Gehäusekomponente (41) des Druckregelventils (12) elastisch und/oder plastisch, abhängig von der am Montageelement (51) aufgebrachten Montagekraft (58) ist.

1/2

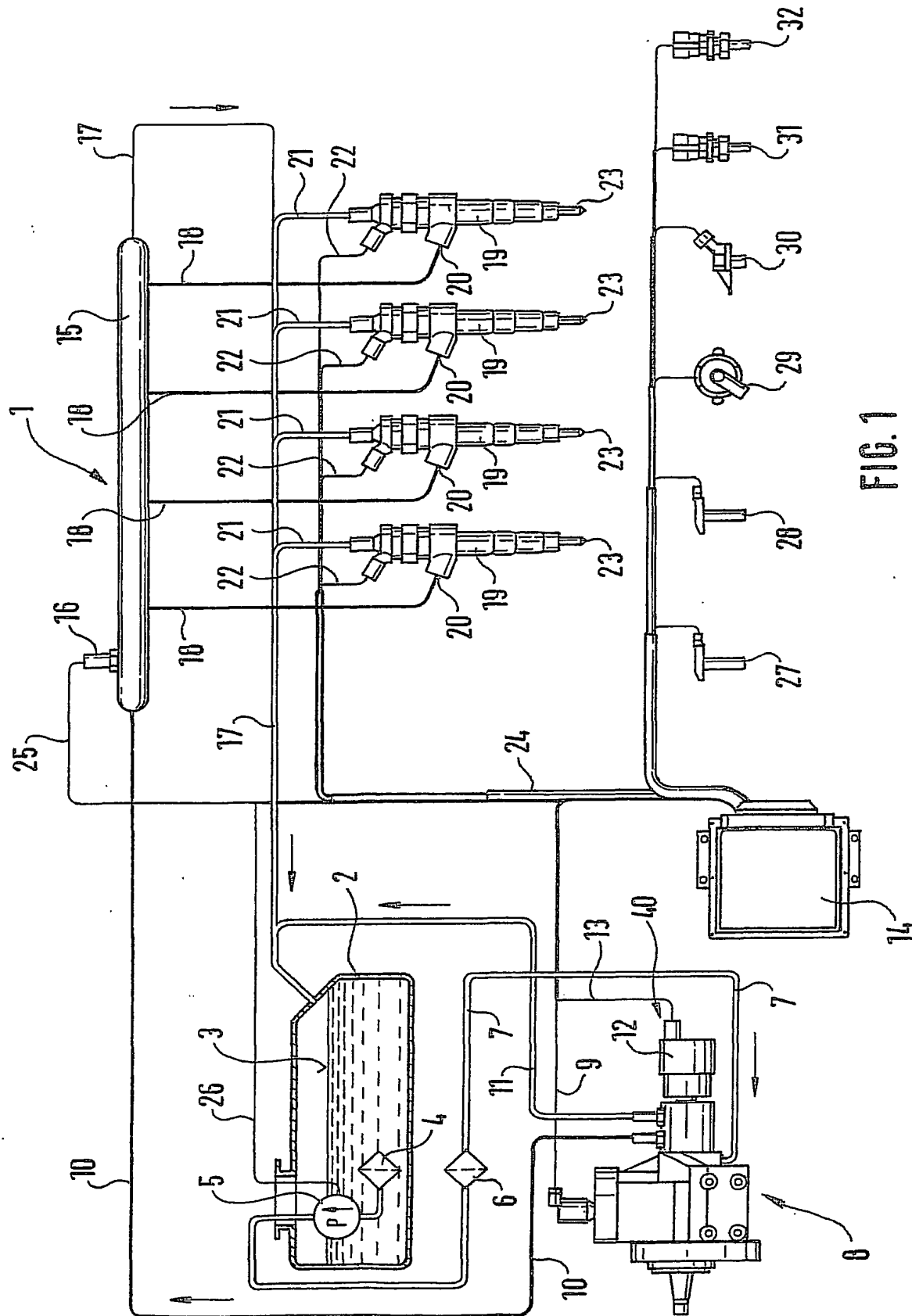
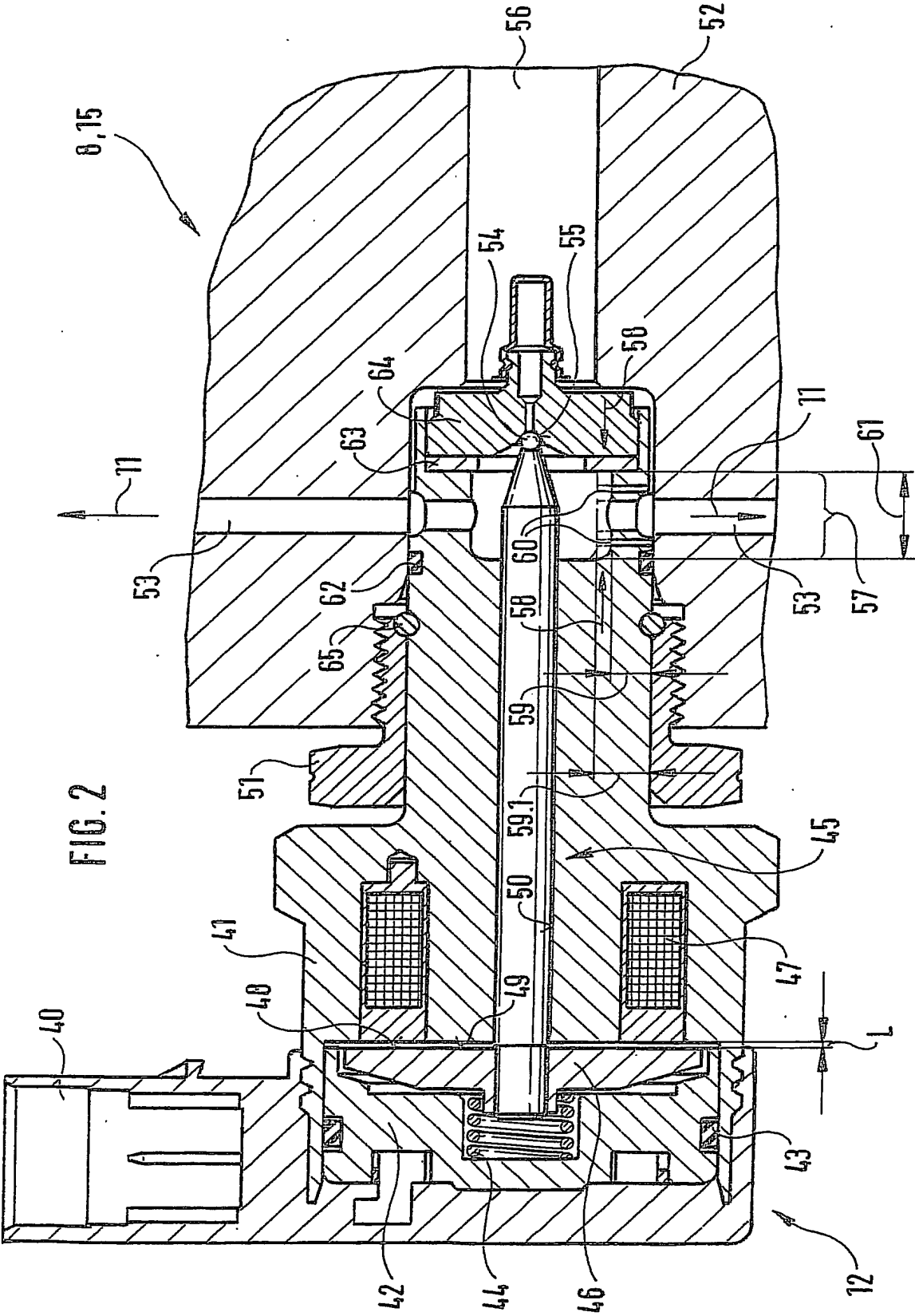


FIG. 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/00137

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02M63/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 092 863 A (BOSCH GMBH ROBERT) 18 April 2001 (2001-04-18) paragraphs '0006!', '0007!'; figure 1 ---	1, 10-12, 14
Y	US 5 067 688 A (TANIMOTO YOSHIMITSU ET AL) 26 November 1991 (1991-11-26) column 3, line 12 - line 34; figure 1 ---	1, 10-12, 14
A		3
Y	BOSCH: "Elektronische Speichereinspritzung Common Rail" DIESEL-SPEICHEREINSPRITZSYSTEM COMMON RAIL. AUSGABE 98/99, STUTTGART: ROBERT BOSCH GMBH, DE, 1998, pages 1-49, XP002209528 page 20, line 1 - page 21, line 14; figure 9 --- -/--	1, 10, 14

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 May 2003

Date of mailing of the international search report

04/06/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kolland, U

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/00137

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	EP 0 916 843 A (ELASIS SISTEMA RICERCA FIAT) 19 May 1999 (1999-05-19) paragraph '0014! - paragraph '0023!; figures 1-3 -----	1, 10, 14 4, 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/00137

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1092863	A	18-04-2001	DE 19949814 A1	19-04-2001
			EP 1092863 A2	18-04-2001
			JP 2001132578 A	15-05-2001
			US 6349703 B1	26-02-2002
US 5067688	A	26-11-1991	JP 1975348 C	27-09-1995
			JP 3153979 A	01-07-1991
			JP 7001063 B	11-01-1995
			KR 9400293 Y1	19-01-1994
EP 0916843	A	19-05-1999	IT 1296144 B1	09-06-1999
			CN 1220342 A , B	23-06-1999
			EP 0916843 A1	19-05-1999
			JP 11218061 A	10-08-1999
			US 6131829 A	17-10-2000

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 F02M63/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F02M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 092 863 A (BOSCH GMBH ROBERT) 18. April 2001 (2001-04-18) Absätze '0006!', '0007!'; Abbildung 1 ----	1, 10-12, 14
Y	US 5 067 688 A (TANIMOTO YOSHIMITSU ET AL) 26. November 1991 (1991-11-26) Spalte 3, Zeile 12 - Zeile 34; Abbildung 1 ----	1, 10-12, 14
A		3
Y	BOSCH: "Elektronische Speichereinspritzung Common Rail" DIESEL-SPEICHEREINSPRITZSYSTEM COMMON RAIL. AUSGABE 98/99, STUTTGART: ROBERT BOSCH GMBH, DE, 1998, Seiten 1-49, XP002209528 Seite 20, Zeile 1 -Seite 21, Zeile 14; Abbildung 9 ----- -/--	1, 10, 14



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahellegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Mai 2003

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

04/06/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kolland, U

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/00137

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 916 843 A (ELASIS SISTEMA RICERCA	1,10,14
A	FIAT) 19. Mai 1999 (1999-05-19) Absatz '0014! - Absatz '0023!; Abbildungen 1-3 -----	4,9

INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/00137

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1092863 A	18-04-2001	DE 19949814 A1	19-04-2001
		EP 1092863 A2	18-04-2001
		JP 2001132578 A	15-05-2001
		US 6349703 B1	26-02-2002
US 5067688 A	26-11-1991	JP 1975348 C	27-09-1995
		JP 3153979 A	01-07-1991
		JP 7001063 B	11-01-1995
		KR 9400293 Y1	19-01-1994
EP 0916843 A	19-05-1999	IT 1296144 B1	09-06-1999
		CN 1220342 A ,B	23-06-1999
		EP 0916843 A1	19-05-1999
		JP 11218061 A	10-08-1999
		US 6131829 A	17-10-2000

Abstract

The invention relates to a fuel injection system for internal combustion engines. The fuel injection system includes a high-pressure reservoir (15), which is acted upon by fuel at high pressure via a high-pressure feed unit (8) and supplies
5 fuel injectors (19) with fuel. The high-pressure feed unit (8) is assigned a pressure regulating valve (12), which is disposed between a high-pressure side (10, 56) and a low-pressure side (11, 53) and includes a valve element (54), is triggerable via an electrical final control element (47). The pressure regulating valve (12) includes a
10 housing component (41), which includes a deformable region (57) by way of which, upon mounting of the pressure regulating valve (12) on a receiving body (52), a gap L between faces (48, 49) of an electrically triggerable final control element assembly (45, 47) is adjustable.

(Fig. 2)